第三節 灌溉系統及應用

陳 榮 濱

一、前 言

一般植物體所含水份佔其總重量之90% 左右，灌溉之目的在於供給作物水分以確保作物之正常生長。植物在其生長過程中，不斷由根部吸收水分並輸送到各組織細胞中以提供其基本生化作用，其實生化作用所需水分非常之少，絕大部經由植物體表之氣孔蒸散於大氣之中，此過程稱爲蒸散作用。其目的在於降低植物體之溫度及自根部吸收肥料。蒸散作用之大小隨生長環境之不同而有極大之變化，主要受季節變化，日照強弱，風速大小，介質水分含量及作物之生育期所影響。一旦作物根部吸收之水分不敷蒸散量，則作物即發生凋萎現象，對於作物之生長發育影響極大。爲避免作物之失水現象，灌溉作業即爲作物栽培管理極重要之工作項目。

灌溉計劃之實施又因作物種類，栽培地點，栽培方法，乃至於設施種類之不同而有極大之差別。本單元謹就設施環境下之灌溉方法加以討論。

二、影響灌溉品質之因子

㈠水質

水質良好與否影響作物之生育至鉅，灌溉用之水源最好能夠進行化學分析，以確定水源中所溶有之元素含量，一方面可判定其鹽份含量是否過高，二方面可供施肥計劃之參考。灌溉用水所應注意之項目爲電導度(EC)及鈉(Na)，氯(Cl)，硼(B)及重碳酸(HCO_3)等之濃度。表一爲灌溉水質之評估，可供參考。

表一 灌溉用水品質之評估

項目	作物受害程度		
	無害	輕微	嚴重
電導度 (EC)	〈 0.75	0.75 － 3.0	〉3.0
固形物總溶解量 (mg/l)	〈 480	480 － 1920	〉1920
氯含量 (mg/l)	〈 70	70 － 345	〉345
鈉含量 (mg/l)	〈 70	70	－
硼含量 (mg/l)	〈 1.0	1.0 － 2.0	2.0 － 10.0
重碳酸含量 (mg/l)	〈 40	40 － 520	〉520

＊轉錄自 Greenhouse Opertation and Management. P. V. Nelson.

若灌溉水之EC太高，應探究其所含溶質之種類，以便在肥料施用時扣減水中所含之量。又如使用高EC水源灌溉，則不可等介質太乾才灌水，否則作物極易遭受鹽害。水中含硼量高，作物易受毒害，施用石灰或提高pH值可以降低硼之有效性，而避勉遭受毒害。重碳酸根太高常導致作物葉片黃化，葉片乾枯及生育不良。用自來水灌溉並非毫無問題，因自來水中常加氯及氟，若氯濃度超過0.4ppm對於某些作物之根產生傷害，如水耕菊花及玫瑰花等。對於氟產生敏感之作物如吊蘭(*Chlorophytum*)，朱蕉(*Codyline terminalis*)，白線千年木(*Dracaena deremensis*)，香龍血樹(*Dracaena fragrans*)，豹紋竹芋(*Maranta leuconeura*)，白鶴芋(*Spathiphyllum*)，象腳王蘭(*Yucca elephantipes*)等。而可能受氟害者爲雪佛利椰子(*Chamaedorea seifrizii*)，星斑葉蘭(*Aspidistra elatio*)，箭葉竹芋(*Calathea insignis*)，孔雀竹芋(*Calathea makoyana*)，紅邊竹蕉(*Dracaena marginata*)，鑲邊竹蕉(*Dracaena sanderana*)等。

㈡灌溉時期

一般而言，作物之適當灌溉時期，應該在作物剛剛顯現缺水現象時予以施灌，如果施灌太早，一方面浪費水資源，二方面作物根域水份太多，空氣相對減少，影響根系發展。作物種類不同其缺水之反應不一樣，如菊花在發生缺水(water stress)時葉色會變得較深，而秋海棠則呈現灰綠色，仔細觀察作物表徵的變化可獲得最佳灌溉時期的判定。但亦有作物對於缺水不易顯現色澤變化者，如杜鵑，待其發生缺水徵候時即已對其根部造成傷害了。因此除了葉片顏色變化之觀察外，對於栽培介質特性之認識，以及觸摸檢查，乃至失重調查均爲重要之灌溉指標。

㈢灌溉水量

一次灌溉之水量應以能夠濕透所有植材爲原則。假設一盆花其介質可吸收600cc水，若只灌施300cc，則可能只有上半部之介質吸水濕潤，下半部仍然保持乾旱，灌溉水量顯然不夠，作物很快就會失水而凋萎。灌溉需水量之測定極爲重要，此有助於灌溉計劃之擬訂及實施。又介質之吸水特性因種類不同而有極大差異，其吸水慢者若短時間內給予大水量，則常來不及吸收而大量流失。理想的施灌方法是小水量而延長時間，讓所有介質均吸收充足之水分。灌水量過多，除浪費水資源外，並可能造成肥料被淋洗，並無益處。

㈣灌溉系統與介質之配合

設施園藝除部份進行土耕者外，大多以調合介質栽培爲主，介質之選擇除應考慮作物生育特性之外，對於灌溉方法之適應性亦應詳加考慮。比如一個圃場擬採用滴水灌溉系統，則對於介質之選擇應特別注意其水分之擴散能力，只有擴散能力佳的介質才能使整盆介質充分吸收水份，否則水分只在滴點呈垂直分佈，對於根系之發展極爲不利。

三、灌溉方法

㈠人工灌溉

以人工用澆水器將水均勻澆灑到栽培介質上，由於澆水工作相當單調，而且灑水器移動

之速度很難保持一致，澆灌之均勻度欠佳，在今日高工資背景之環境下，以人工澆水已不符經濟原則。在荷蘭、丹麥已把人工澆水看成奢侈之作業，只有在育苗期或進行部份地點補灌時才會實施人工澆水。

㈡噴水灌溉

將噴水器架在作物植株上方，灌溉水經幫浦加壓由噴水器射出成細小水粒佈全園之灌溉方法。它的優點是省人工，可自動化施灌，其缺點爲設備費用，水分蒸散量較大，水分分佈勻度較差，根域外噴施易滋生雜草，水質不良噴嘴易被堵塞，作物葉片積水易生病害，切花易沾水斑影響品質。

㈢噴水帶灌溉

在塑膠軟管上於固定距離打小洞作爲出水孔，將之鋪於作物行間，以低壓供水，讓水由管壁上小孔流出灑施於株間介質上。一般使用於地面築床栽培者。塑膠軟管鋪設機動性高，收藏方便爲其優點。

㈣滴水灌溉

在給水管上裝上滴嘴使灌溉水由滴嘴呈水滴狀滴落於介質，本灌溉系統適合於水份橫向擴散良好之介質。它的優點是用水經濟，可自動化施灌，節省人工，其缺點爲滴嘴容易被堵塞，導致灌溉不均勻。

㈤細管灌溉

一般運用在盆栽作物上。給水管置於栽培床，由給水管導出細管，細管之出水端以小支架固定於植盆內介質，避免滑落盆外。溫室內吊盆應用本灌溉系統最爲理想。

㈥根域浸灌

植床底部密封，可盛水，將灌溉水引入植床，水位上升到一定高度後排水，在水位一升一降過程中，可將根域介質間之空氣予以置換，用水可以循環利用，應用於養液栽培省水又省肥，並減少環境污染。設施費用高爲其缺點。

㈦移動床系統定點灌溉

傳統之灌溉方法多將灌溉水引到作物栽植地點施灌。移動床之設計理念則爲將栽培床藉由床下之滾輪整床移到作業區進行灌溉，施肥及噴藥。此系統可將灌溉溢流水及滴落水收集，經過濾消毒而重複使用，節省用水，也減少環境污染。

四、灌溉系統之設備

㈠蓄水池

蓄水池之大小得視補充水源取得之難易而定，其建造地點宜選擇在供水方便，配管最短又不妨礙栽培作業之處爲準。

㈡抽水機

除非園圃與水源具有位差或利用水塔供水，否則抽水機即爲灌溉用水輸送之原動力。抽

水機之型式種類很多，各有不同功能。選購時應請水利專家就灌溉需求核算，才能選定適當之抽水機種類及大小，配置適當與否影響抽水機之效率甚大，其高低差異可由降到75% 僅20% ，直接影響灌溉成本。

㈢輸水管

由於本省塑膠工業發達，不同規格大小之水管均有產製，各種轉接頭也都一應俱全，施工極爲方便，時下設施園藝之灌溉系統幾乎都是應用塑膠管來裝置，不只是施工方便，而且經濟耐用。輸水管依其功能可分下列三種類別：

1. 幹管

連接於抽水機出水口與支管之主要輸水幹道，管徑較大。一般埋設在地下避免妨礙管理作業之執行。

2. 支管

支管係由幹管分支而來，下接給水管。一個較大面積之園區如果要一次同時全面施灌，其輸水容量必需相當大，其設備費用也相對增加，故一般均將全園劃分成數個輪灌區塊。支管之主要任務爲將幹管送來之水分佈到各灌溉區域，配合制水閥之開閉，即可達到輪灌之目的。

3. 給水管

給水管之任務爲將支管出來之水引導分佈到作物根域。依不同灌溉方法可在給水管上裝上不同之出水口，如灑水器，滴孔，滴嘴，噴頭或細管等將灌溉水均勻分佈到根域介質上。

㈣控制器

灌溉作業爲經常性而且是極其單調之作業，即使有專人掌管仍常無法控制到恰得其份，尤其在人工缺乏之環境下，自動化灌溉之裝置更顯得有其必要。最簡單的控制方法爲利用定時器，時下已有可程式規劃之電子式定時器上市，相當方便，若再配合電磁閥，順序控制器，即可進行自動化分區灌溉。定時器之缺點爲不能隨作物之蒸發散量做因應變化。在國外已有一種日射能開關，可設定累積到多少日射能後起動灌溉系統，使用該系統較能配合作物之需求施灌並可節省一些灌溉用水。

五、灌溉管路規劃與施工

灌溉水之輸送效率主要受到輸送距離及管路磨擦阻力之影響，因此灌溉管線之安排應以最短距離並儘量減少急轉彎爲原則。而給水管之前後出水口之間常有壓差之變化，導致出水量不同，因此對於給水管之安排更應注意。以1.8×21公尺栽培床爲例，採用口徑1.5mm 長61公分之細管灌溉，沿床面縱向鋪設 2 支管徑19mm給水管，若供水點在床之一端，則僅約70盆可獲均勻供水，但如果由中間點供水，則可均勻供給280 盆，其效率相差達 4 倍，此乃出水壓降差異之關係，供水在床之端點，則前後出水口之距離達20公尺，前後壓差較大。供

水口若在中間點，則第一及最後出水口之距離僅約10公尺，壓降減少，出水均勻度增加。輸水管路包括幹管及支管可架設在空中或埋設在地下，應該考量的是這些管路以不妨礙一般栽培作業爲原則。

六、灌溉系統應用於施肥

利用灌漑系統進行施肥是現代設施園藝普遍採行的方法，一方面肥料可隨灌漑水均勻分佈到作物根域，二方面可利用自動化灌漑設備執行自動化施肥，既省時又省力，降低生產成本。利用灌漑系統施肥須先將肥料溶解成高濃度母液，利用注入器將母液注入幹管中，由管中水流混合成適當濃度之營養液，施灌到作物根域，相關之設備及養液之配製方法說明如下：

㈠設備

1. 養液桶

至少需準備 2 個養液桶供儲存母液，以便將含磷酸根肥料與含鈣肥料分開儲存，避免在高濃度情形下起化學作用形成磷酸鈣而發生沉澱。

2. 肥液注入器

肥液注入器之型式有許多種，其操作原理各有不同。有依文氏管(Venturi) 原理抽吸養液混合於灌漑水中，也有利用不同直徑和長度之細管控制流量進行稀釋者，此二種方式之控制精度並不高，大概可應用在土壤栽培之作物上，因爲土壤具有較高之緩衝能力，可以忍受20% 之濃度變化，但應用在無土介質栽培上則較不適合。一種活塞注入器由灌漑水流帶動活塞，每完成一動程即注入定量母液到水流中，此水流與母液注入量形成一個直接相關常數，混合比例能維持一定。因有2種母液要施用，故應備有 2 組注入設備，一前一後安置，將 2種母液注入幹管中。

㈡養液之調配

1. 植物之營養要素

分析植物體，一般含有碳(C)、氫(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、硫(S)、鐵(Fe)、錳(Mn)、硼(B)、鋅(Zn) 、銅(Cu)及鉬(Mo)等元素。其中碳、氫、氧三元素由二氧化碳及水提供，其餘之礦物元素由植物根自根域溶液中吸收取得。植物體所含礦物元素中氮、磷、鉀、鈣、鎂及硫含量較多，稱爲大量元素，鐵、錳、硼、鋅、銅及鉬等稱爲微量元素。各項元素在植物生長環境中一旦缺乏，即會影響植物之正常生長，並產生生理病癥。一般土壤中所含之鈣、鎂、鐵、錳、硼、鋅、銅及鉬等大多足供作物需求，因此追施之肥料常以氮、磷及鉀等要素爲主。但一般園藝作物尤其花卉作物，常應用無土介質栽培，其所提供之元素含量常不足作物所需，甚至付之闕如。因此供給完整之營養成份即爲非常重要之作業。栽培業者最好將所用之栽培介質取樣委託農業研究機關或大學土壤系進行營養元素含量分析以供作施肥計劃之參考。花卉作物一般多在具有完善灌漑設施環境下栽培，其施肥作業可透過灌漑系統以養液施用，極具效率。

2. 調配養液常用之肥料

應用於調配養液之肥料常含有一種或二種肥料元素，調配養液時可依養液配方所含元素選擇適當之肥料予以組合，並依肥料所含元素之重量比計算肥料使用量。表二列述各種常用肥料所含元素之克分子量，提供元素種類所佔之百分率及各元素之原子量，俾利計算運用。

表二、常用肥料所含元素之克分子量，提供元素種類所佔之百分率及原素原子量

肥料名稱	分子式	克分子量	提供元素種類及含量(%)		各元素原子量
硝酸鈣	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	236	N : 12,	Ca: 17	C : 12
硝酸鉀	KNO_3	101	N : 14,	K : 39	H : 1
硝酸銨	NH_4NO_3	80	N : 35		O : 16
尿素	$(NH_2)_2CO$	60	N : 46		N : 14
氯化銨	NH_4Cl	53	N : 26	Cl: 66	P : 31
磷酸一銨	$NH_4H_2PO_4$	115	N : 12	P : 27	K : 39
磷酸一鉀	KH_2PO_4	136	K : 29	P : 23	Ca: 40
硫酸鉀	K_2SO_4	174	K : 45	S : 18	Mg: 24
氯化鈣	$CaCl_2.2H_2O$	147	Ca: 27	Cl: 48	Fe: 56
氯化鉀	KCl	74	K : 53	C_1: 47	Mn: 55
硫酸鎂	$MgSO_4.7H_2O$	246	Mg: 10	S : 13	B : 11
硫酸銨	$(NH_4)2SO_4$	132	N : 21	S : 24	Zn: 65
硫酸亞鐵	$FeSO_4.7H_2O$	278	Fe: 20	S : 11	Cu: 64
硫酸錳	$MnSO_4.4H_2O$	223	Mn: 24	S : 14	Mo: 96
硼酸	H_3BO_3	62	B : 17		
硫酸鋅	$ZnSO_4.7H_2O$	287	Zn: 23	S : 11	
硫酸銅	$CuSO_4.5H_2O$	250	Cu: 25	S : 13	
鉬酸銨	$(NH_4)_2M_0O_4$	196	N : 14	M_0: 49	

(三)肥料用量計算

營養液組成有多種表示方法，一般多以元素在溶液中所佔百萬分比值表示，即ppm。而一公升(l)溶液中含有某一元素之毫克數(mg)恰等於該元素佔此溶液之百萬分之比值，即ppm相當於mg/l，此式在養液肥料濃度運算上非常方便。養液調配時，需選擇含有配方中元素之肥料，依肥料中所含元素之重量百分比，或所含元素之原子數來計算配方中各元素濃度所需之肥料量。實用上常以配製1000公升所需肥料之公克數爲計算基礎，再視實際需用量予以增

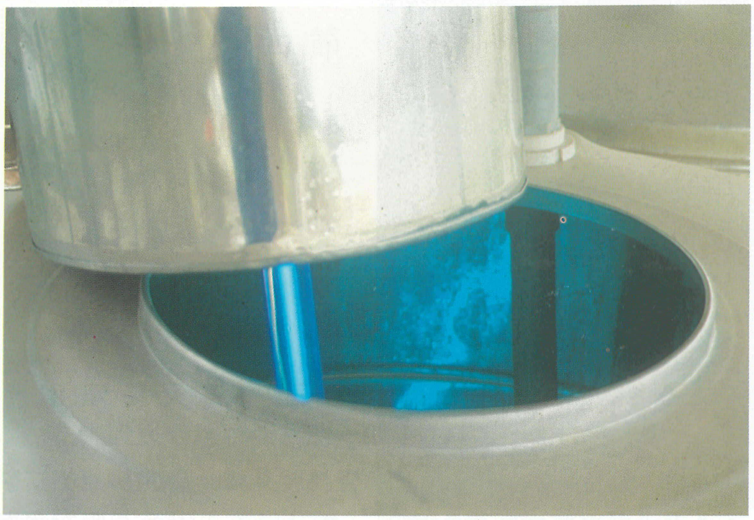
減。茲舉一例說明，如欲配1000公升之養液，所含大量元素N 200ppm，P 31ppm，K 390ppm，Ca 80ppm，Mg 16ppm. 首先考慮磷元素31 ppm (31g/1000l)，如用磷酸一鉀提供 p 元素，因其所佔比重爲23% 所需KH_2PO_4爲31/0.23=135 克即一個克分子量, 它除提供31ppm 之 p 元素外，並提供 k 135*0.29 ＝39克即39ppm.再考慮鈣元素，如使用$Ca(NO_3)_2.4H_2O$，則需80/0.17 ＝ 470克，除Ca80ppm外, 亦提供NO_3-N 470*0.12＝56ppm. 390ppm 之鉀元素因磷酸一鉀已提供39ppm.其餘可用KNO_3肥料，需(390-39)/0.39＝ 900 克, 它亦提供NO_3-N 900*0.14＝126ppm. 至此N 元素已有126+56＝ 182ppm.其不足數擬由NH_4NO_3提供，需(200-182)/0.35=51克。Mg元素可用$MgSO_4.7H_2O$肥料，其用量爲16/0.10=160克。

㈣養液之配製法

爲減少養液儲存体積，一般將養液配成100 倍濃縮母液，施用時再予稀釋，由於在高濃度情形下，鈣離子極易與磷酸根結合而沉澱，影響肥料之有效性，並可能堵塞灌溉系統之出水口。爲避免上述沉澱情形發生，必須分開配製兩種母液，分別儲存於兩個養液桶，其一含鈣源，另一含磷酸源。母液按適當之倍數稀釋後即成栽培養液，配好栽培養液後應測試其pH值, 如有必要, 可用H_2SO_4或KOH 進行調整，一般栽培養液之pH值爲6.5呈弱酸性爲佳。

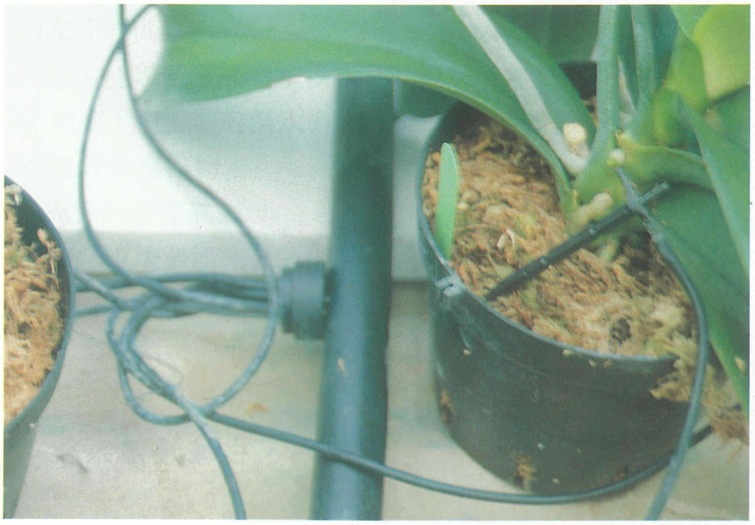
七、參考文獻

1. 王銀波. 1989. 培養液的化學性及其管理。 養液栽培技術講習會 2:60-68.
2. 李 哖. 1989. 固體介質之養液栽培。 養液栽培技術講習會 2:78-87.
3. 沈再發、林俊彥譯. 1992. 岩綿在園藝作物栽培上之利用。 台北市七星農田水利研究發展基金會·
4. 曹以松、劉佳明、陳獻、黃雲和. 1988. 灌溉排水及農地重劃技術資料。 農業工程研究中心·
5. 陳榮濱、楊柏椿、黃東瑞、潘清樂、穆欽國、趙純明. 1990. 蝴蝶蘭營養液栽培之初步研究報告。 台灣糖業研究所研究彙報　127:27-35.
6. 陳榮濱. 1992. 觀賞植物養液栽培。 養液栽培技術講習會 4:62-71.
7. 廖本裕. 1986. 無土草花栽培。 五洲出版社·
8. Israelsen, O. W., and V. E. Hansen, 1962. Irrigation Principles and Practices. 3rd edition John Willy and Sons, Inc., New York, London.
9. Nelson, P. V. 1985. Greenhouse Operation and Management. 3rd edition. Prentice Hall Inc..
10. Ball, V. 1991. Ball Red Book. 15th edition, Geo. J. Ball, Inc.
11. Penningsfeld, F. 1985. Soilless propagation and cultivation of orchids, possibilities, advantages and disadvantages. ISSOC Soilless Culture 1(1):55-66.

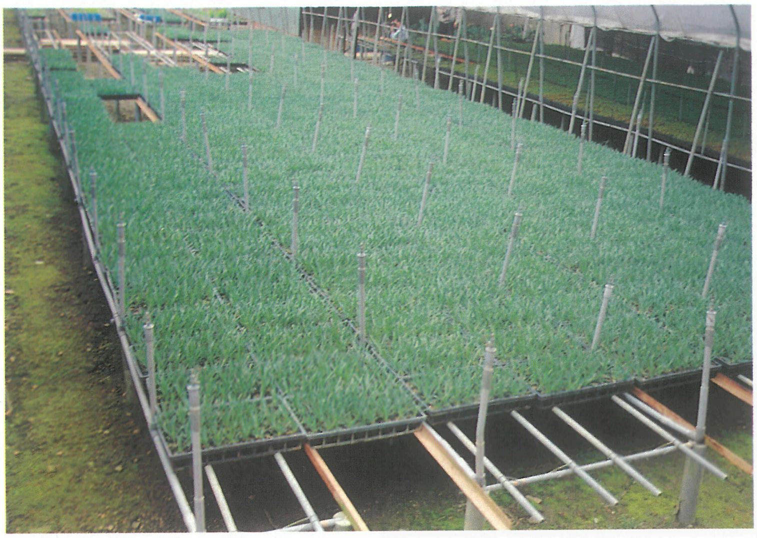


圖一、UV 燈管照射消毒

圖二、蝴蝶蘭淋灌



圖三、細管滴灌



圖四、滿天星噴灌

圖五、百合噴水帶

圖六、根域浸灌系統